International Science Journal of Engineering & Agriculture
2022; 1(3): 37-51
https://isg-journal.com/international-science-journal-of-engineering-agriculture/
doi: 10.46299/j.isjea.20220103.4
ISSN: 2720-6319

ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ НА ФОРМУВАННЯ ПАВОДКОВИХ ВОД

Оксана Белей[1], Лідія Штаєр[1,2]
[1]Кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
[1]ORCID 0000-0002-2386-4106
[2]ORCID 0000-0003-1013-9869
Електронна адреса: oksana.belei@nung.edu.ua, lida.shtayer@gmail.com

Для цитування цієї статті:
Оксана Белей, Лідія Штаєр. Вплив поверхневого стоку на формування паводкових вод. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 1, No. 3, 2022, pp. 37-51. doi:10.46299/j.isjea.20220103.4.
Надійшла до редакції: 12 липня 2022 р.; **Схвалено:** 19 липня 2022 р.;
Опубліковано: 01 серпня 2022 р.

Анотація: У роботі розглядається поверхневий стік як складова формування паводкових вод. Актуальність питання підтверджується наведеною статистикою виникнення паводкових вод. Окремо розглянуто природні фактори та антропогенні чинники, які є основними причинами їх виникнення. Встановлено, що руйнування природних стоків, зниження лісистості збільшують ймовірність розвитку паводків на території водозбору. Наведено основні показники поверхневого стоку, водно-фізичні властивості ґрунту, проаналізовано процес формування поверхневого стоку. Проведений аналіз відомих математичних моделей розрахунку кількісних характеристик поверхневого стоку дозволив виділити три групи моделей відповідно до розрахункової величини: максимальний стік, витрата стоку, шар стоку. Виявлено основні недоліки розглянутих моделей. Встановлено, що математична модель В. М. Жука дозволяє врахувати природні та антропогенні чинники при розрахунку максимальних витрат паводкових вод. В роботі також приділено увагу питанню захисту від поверхневого стоку. Виділено основні питання, які необхідно враховувати при виборі методу захисту: швидкість розгортання системи; екологічність; постійне чи тимчасове використання; вартість. За результатами аналізу впливу поверхневого стоку на формування паводкових вод сформовано висновок про необхідність розробки інформаційної системи контролю кількісних характеристик поверхневого стоку, яка б включала основні кількісні характеристики поверхневого стоку, водно-фізичні властивості ґрунту, рельєф басейну, кліматичні фактори з метою попередження або запобігання виникненню поверхневого стоку, який спричиняє селеві потоки, затоплення сільськогосподарських угідь, житлових масивів, а також є

основною складовою для формування паводкових вод, повеней. У подальшому планується вдосконалити існуючі математичні моделі розрахунку поверхневого стоку шляхом врахування природних факторів (фізико-географічні показники басейнів рік – площу басейну, нахил місцевості; кількісні характеристики стоку) та антропогенних чинників (коефіцієнт лісистості та заболоченості).

Ключові слова: поверхневий стік, паводкові води, математична модель, гідротехнічні споруди.

1. Вступ

Основними причинами виникнення паводкових вод є природній фактор і антропогенні чинники.

Природним фактором виникнення паводкових вод є гідрометеорологічна ситуація, яка представлена гранулометричним складом і водопроникністю ґрунтів та ступінню їх зволоження, крутизною схилів у Карпатах (20-60 %), рослинним покривом, метеорологічними умовами (кількість опадів понад норму, інтенсивність та тривалість випадання), ступінню залісеності та розораності території, порою року, наявністю понижень, боліт тощо. Основним чинником у формуванні поверхневого стоку, який впливає на виникнення паводкових вод, є опади, які представлені наступною статистикою: 30-31 серпня 1927 р. кількість опадів перевищила 300 мм, 8-9 січня 1948 р. – 400 мм (танення снігу, 130 мм за добу), 7-10 червня 1969 р. – 200-300 мм, 12-18 травня 1970 р. – 115-300 мм, 22-27 липня 2008 р. – 195-344 мм. Відповідно до [1] Карпати – зона найвологішого клімату України, середня річна сума опадів становить 600-1600 мм і більше. Влітку на північних схилах Карпат випадає 72-82 %, а на південних – 60-75 % річної суми опадів. Підйом рівнів води в Українських Карпатах становить в гірських ріках 2-4 м, на передгірських – 5-6 м, а на р. Тисі – 6,5-9,5 м [2]. Середній рівень снігу в Карпатах 0,6 м, а в окремі роки або на окремих територіях може сягати до 2 м, що при інтенсивному таненні також може спричинити катастрофічне підняття рівня води річок [3]. У високогірних районах Івано-Франківської та Закарпатської областей пересічна товщина снігового покриву часто перевищує 30-40 см [4]. У сонячні дні танення снігу призводить до збільшення щільності, але доки вона не перевищить 50 %, стікання в ґрунт не почнеться. Лісова рослинність зменшує швидкість танення снігу і затримує його сходження до шести тижнів [5].

У Карпатах усі руйнівні паводки формуються в умовах перезволоженості ґрунтів (північно-східний мегасхил гірської системи) або їх замерзлого стану (Закарпаття). Середньорічний шар поверхневого стоку з північно-східного макросхилу Карпат оцінюється в 380 мм, а з території південно-західного – 580 мм. Річний об'єм стоку обох макросхилів Карпат становив майже 15 млрд. $м^3$; в останні десятиліття він помітно збільшився і сягає 18,3 млрд. $м^3$ [6].

Антропогенні чинники виникнення паводкових вод представлені руйнуванням природних стоків, які спричинені незаконним видобутком гравію і вирубкою лісів.

Руйнування природних стоків полягає в незаконному видобутку піску і гравію в руслах рік, будівництві протяжних споруд на схилах (лінійної частини магістральних трубопроводів), зменшення лісистості територій і забороняється правовим режимом зон санітарної охорони (ЗОС) водних об’єктів (пунктом 6, підпунктом 2) [7]. Хаотичний видобуток гравію, піску та каміння безпосередньо з русла, спричиняють зниження рівня рік, береги стають крутішими, русло змінює напрямок, через що при сильних зливових дощах вода стрімко летить вниз, розвивається берегова ерозія. Незаконний надмірний видобуток піщано-гравійних сумішей призвів до зниження відміток русла й заплавних ділянок вздовж русла на р. Прут (м. Чернівці) на 2,5-3 м, р. Лімниця (с. Добровляни, неподалік м. Калуша) – 1,5-2 м.

Лісистість території Карпат протягом двох останніх століть знизилася до 20,2 % у рівнинних районах і передгір'ях, а в гірських – до 53,5 % [8]. Лісистість Закарпатської області станом на грудень 2021 року становить 51,4 % [9]. Суцільне вирубання лісу сприяє збільшенню вологості ґрунту на 13-20 %, що, водночас, сприяє інтенсифікації шкідливого поверхневого стоку води на зрубах [10]. Після зливових дощів поверхневий стік на площах з непорушеною рослинністю становить менше 3 % кількості опадів, а на безлісній площі поверхневий стік з’являється після легких дощів і складає більше 60 % кількості опадів [8, 11]. Порівнюючи річний стік до і після рубки можна відмітити, що річний стік збільшується і сягає найбільшої величини на 2-3 рік після вирубки лісу [11].

У лісовому фонді Українських Карпат переважають молодняки і середньовікові деревостани, водорегулювальна роль яких невисока, тому вирубування старих лісів (30-80 років) також суттєво зменшує максимально можливий вологовміст території, що збільшує ймовірність розвитку паводків на території водозбору [12].

Літературні дані [5] засвідчують, що протягом року більшість опадів затримуються наметом чистих ялинок – 36-44 %, буково-хвойні – 25-33 % і найменше наметом букових насаджень – 17-25 %. Лісові насадження контролюють температурний режим [12]: знижують максимальні і підвищують мінімальні температури повітря впродовж року, тобто чим менша інтенсивність рубань, тим більша температура відповідає умовам не вирубаного лісу. Ліси здатні утримати 0,5-2,5 мм води під час одного дощу, а загальна втрата опадів залежно від характеру лісового покриву становить 10-40 %. Стікання зі стовбурів дерев затримує до 16 % опадів [12].

Наведені дані свідчать, що питання контролю за формуванням поверхневого стоку як складової процесу формування паводків є актуальним, вимагає системного підходу до його моделювання, розрахунку та прийняття запобіжних заходів.

2. Характеристики поверхневого стоку

2.1.Основні показники поверхневого стоку

Поверхневий стік – процес переміщення води по земній поверхні під впливом сили тяжіння. Поверхневий стік ділиться на схиловий, який утворюється за рахунок дощових і талих вод, відбувається на поверхні схилу поза фіксованими дорогами, і русловий – стік, що проходить по певних лінійних напрямах: в руслах річок, днищах ярів і балок. Основними показниками поверхневого стоку є максимальні і мінімальні витрати води. Максимальні витрати води спостерігаються в період паводків, повеней чи підтоплень, мінімальні витрати – в межень.

Поверхневий стік характеризується такими основними кількісними характеристиками [13-14]:

- модуль стоку – кількість води, яка стікає із одиниці площі водозбору за одиницю часу:

$$q_r = \frac{Q}{F}, \tag{1}$$

де q_r – модуль стоку (м^3/(с·км^2)), F – площа басейну ріки (км^2), Q – витрата води (м^3/с);

- витрата води (стік) – кількість води, що протікає за одиницю часу через переріз (наприклад, через живий переріз річища);
- шар стоку – потужність шару води, що стікає із водозбору за який-небудь проміжок часу T:

$$h = \frac{Q \cdot T}{F}, \tag{2}$$

де h – шар стоку (мм), F – площа водозбору (м^2), T – кількість секунд в році;

- коефіцієнт стоку – це відношення шару стоку за певний проміжок часу до кількості опадів за цей самий проміжок часу:

$$\eta = \frac{h}{x}, \tag{3}$$

де x – середня кількість опадів за місяць (мм).

Необхідно окремо розглядати поверхневий стік талих вод та поверхневий стік зливових опадів, оскільки умови утворення поверхневого стоку мають принципові відмінності.

2.2.Водно-фізичні властивості ґрунту

Розгляд питання формування поверхневого стоку неможливий без врахування характеристик ґрунтів. Водно-фізичними властивостями ґрунту називають сукупність властивостей, які визначають поведінку ґрунтової води в

його товщі. Найбільш важливими водними властивостями є: водоутримуюча здатність, вологоємність, водопроникність, водовіддача [15].

Водоутримуюча здатність – здатність ґрунту утримувати воду, яка міститься в ньому, від стікання під дією сили тяжіння. Кількісною характеристикою водоутримуючої здатності є вологоємність, тобто здатність поглинати і утримувати певну кількість води. Водовіддачею називається здатність породи, насиченої водою, віддавати ту чи іншу кількість води при наявності вільного стоку [12-13]. Буроземні ґрунти в Карпатах відзначаються високою родючістю, але вони малопотужні, і тому їх водоутримуюча здатність невелика, зокрема у високогір'ї.

2.3.Формування поверхневого стоку

Поверхневий стік, який з'являється при випаданні опадів, зростає до деякого максимуму, а потім зменшується. Тому гідрограф стоку традиційно представляє собою графік, що описує характер зміни витрат води Q у різні періоди часу t (рис. 1).

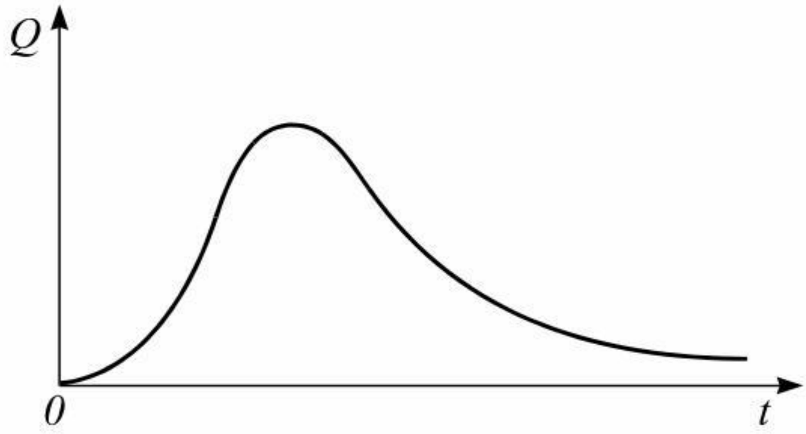


Рисунок 1. Гідрограф поверхневого стоку

У початковий період дощу після завершення процесу перехоплення вологи рослинним покривом краплини дощу попадають на поверхню ґрунту. У цей момент відбувається раптове насичення ґрунту вологою, швидке поглинання води та перерозподіл вологи в тонкому шарі поверхні ґрунту. Інфільтраційна здатність ґрунту в цей початковий момент надто велика і перевищує інтенсивність дощу. До тих пір, поки вологість поверхні залишається меншою вологості насичення, швидкість поглинання води визначається інтенсивністю дощу і поверхневий стік виникнути не може. В умовах подальшого випадання дощу або збільшенні інтенсивності дощу верхній шар ґрунту насичується вологістю до повної вологоємності і створюються умови для виникнення поверхневого стоку за рахунок перевищення інтенсивності дощу над поглинальною здатністю ґрунту. При тривалому випаданні дощу на сильно зволожений ґрунт процес набуває стаціонарного характеру, який визначається

співвідношенням інтенсивності дощу та коефіцієнтом вологопровідності насиченого шару ґрунту. Даний процес може спричинити підвищення рівня води в річках і утворення нерегулярних розливів, а саме паводкових вод. Значні тривалі паводки призводять до виникнення повеней.

Вплив шкідливої дії паводкових вод спостерігається на 27 % нашої держави (165 тис. км^2), де проживає майже третина населення (рис. 2).



Рисунок 2. Поверхневі стокові процеси на Україні

Вище перераховані кількісні характеристики стоку, призводять до виникнення паводкових вод, що негативно впливають на екологічну безпеку довкілля. Тривалі за часовим проміжком паводкові води, які переходять у повені, завдають потужний водяний тиск на основні частини гідротехнічних споруд (нижні та верхні б'єфи) і наслідком такого розм'якшення може бути прорив дамби, що несе за собою негативні наслідки для сільськогосподарських угідь, житлових масивів, тощо.

3. Моделі розрахунку поверхневого стоку

Нижче наведено методи оцінки поверхневого стоку [1-5, 10, 12, 15-16].

3.1.Розрахунок максимального модуля стоку

У ДСТУ 3013-95 наведено основні розрахункові формули для поверхневого стоку, а саме, весняне водопілля:

$$q_m = \frac{k_0 \cdot h_m}{(F+b)^{n_1}} \delta\delta_1\delta_2\delta_3, \tag{4}$$

де q_m – максимальний модуль стоку, м³/км²; h_m – розрахунковий шар стоку, мм; F – площа водозбору до замикаючого створу, км^2; k_0 – коефіцієнт "дружності" водопілля; $\delta, \delta_1, \delta_2, \delta_3$ – коефіцієнти, що враховують вплив місцевих факторів; b, n_1 – регіональні параметри.

Для дощових паводків в області $F \geq 200$ км^2:

$$q_m = q_{200}\left(\frac{200}{F}\right)^{n_2}, \tag{5}$$

де q_m – максимальні модулі річкового та схилового стоку; F – площа водозбору; q_{200} – модуль стоку, приведений до площі $F = 200$ км^2.

Для розрахунку максимального стоку дощових паводків і весняних водопіль для басейнів малих рік використовується наступна формула:

$$q_m = \frac{Y_m}{t_n} f \text{ або } q_m = \frac{Y_m}{T_n} f\left(1+\lambda\right), \tag{6}$$

де q_m – максимальний модуль стоку; Y_m – шар стоку за період весняного водопілля; t_n – тривалість підйому водопілля; T_n – загальна тривалість водопілля; $\lambda = t_{sp} / t_n$ – співвідношення між тривалістю спаду і підйому гідрографів; f – коефіцієнт, що визначається формою гідрографів стоку.

У [12] максимальний стік визначається за формулою:

$$q_m = q'_m \Big/ \left(1 + \frac{q'_m}{y_m} t_p\right), \tag{7}$$

де q'_m – максимальний модуль схилового припливу; t_p – час руслового добігання хвилі паводку; y_m – загальний шар припливу.

Максимальний стік весняного водопілля для басейнів малих рік за моделлю В. І. Мокляка (1964р.):

$$q_m = a_m \varphi_1, \tag{8}$$

де a_m – максимальна годинна інтенсивність водовіддачі (мм/год.); φ_1– коефіцієнт редукції модуля максимальної витрати: t_p / T_0, T_0 – тривалість схилового припливу за повінь/паводок, t_p – час руслового добігання.

Модель Е. Д. Гопченко дає можливість визначити норми річного стоку для рік Закарпаття (площа водозбору від 25,4 км^2). Визначення по районним залежностям стоку від середньої висоти водозбору:

$$q = f\left(H_v\right) \tag{9}$$

та

$$q_m = \frac{q'_m}{1 + t_p / T_0} k_n k_m k_y, \tag{10}$$

де q_m – максимальний модуль схилового припливу; k_n і k_m – коефіцієнти, обумовлені русло-заплавним регулюванням; T_0 – тривалість схилового припливу за повінь/паводок; t_p – час руслового добігання хвилі паводку; k_y – коефіцієнт редукції шару схилового припливу по площі.

Максимальний стік весняного водопілля для басейну р. Сіверський Донець за роботами Е. Д. Гопченко, М. Е. Бурлуцкая, М. Е. Романчук, С. В. Авгайтис

(1989р., 2000р.) (Одеський державний екологічний університет, Херсонський гідрометеорологічний технікум) визначається схиловим припливом:

$$q'_t = q'_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_0} \right)^n \right] \tag{11}$$

та русловим стоком:

$$q_t = q_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_p} \right)^m \right], \tag{12}$$

де q'_m – максимальне значення схилового припливу; q'_t – максимальний модуль редукційного гідрографа схилового припливу; q_t – максимальний модуль редукційного гідрографа руслового стоку; T_p – тривалість руслового стоку за повінь/паводок; T_0 – тривалість схилового припливу за повінь/паводок; t – час руслового добігання хвилі повені/паводку; n – показник степені редукції максимального стоку; m – показник степені редукційного гідрографа стоку.

Максимальний стік весняного водопілля для басейнів малих рік за моделлю А. М. Бефані (1981р.):

$$q_m = \left(Y_m / t_p \right) \varphi K_\Gamma K_F \tag{13}$$

або

$$q_p = 0,28 \left(Y_{1\%} / t_p \right) \varphi K_\Gamma \varepsilon'_\Pi \delta \lambda_p, \ [\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)], \tag{14}$$

де q_p – максимальний модуль стоку; $Y_{1\%}$ – шар стоку 1% забезпеченості; φ – коефіцієнт діючого шару стоку; ε'_Π – коефіцієнт русло-заплавного водообміну й регулювання; δ – коефіцієнт зарегульованості максимального модуля озерами, водосховищами; λ_p – коефіцієнт для переходу від опорної імовірності щорічного перевищення $P = 1\%$ до інших; q_m – максимальний модуль весняного стоку; Y_m – максимальний шар стоку; t_p – час руслового добігання; K_Γ – гідрографічний коефіцієнт; K_F – коефіцієнт русло-заплавного регулювання.

Максимальний стік весняного водопілля для ріки Нямунас (Одеський державний екологічний університет Міністерства освіти і науки України) за роботою Бабельчус Н. В. (2004р.):

$$q_m = \varphi' d_m \eta K_\Gamma K_F, \tag{15}$$

де η – об’ємний коефіцієнт весняного стоку; φ' – трансформаційний параметр; K_Γ – форма водозбору; K_F – русло-заплавне регулювання; d_m – величина максимального надходження води на водозбір у період формування весняного водопілля.

3.2.Розрахунок витрат стоку

Згідно ДСТУ 3013-95, розрахунок для максимальних витрат талих і зливових вод для малих водозборів здійснюється за наступними формулами:

- розрахункові витрати талих вод:

$$Q_p = 0,56\frac{h_n A}{(1+\alpha)\gamma t_n}, \tag{16}$$

де h_n – шар стоку в фазі підйому повені, мм; A – площа водозбору, км²; α – коефіцієнт форми гідрографа; δ – коефіцієнт повноти гідрографа; t_n – тривалість підйому повені на добу з максимальною інтенсивністю; γ – нахил схилу;

- визначення витрат зливових вод:

$$Q_p = 0,56 a_{1p} J^{a3} A\delta\lambda, \tag{17}$$

де a_{1p} – розрахункова інтенсивність водовіддачі при ухилі схилу $J_0 = 1\%$; J – нахил схилу, %; A – площа водозбору, км²; δ – коефіцієнт зниження витрати на залісненій і заболоченій зоні водозбору; λ – перехідний коефіцієнт, що залежить від рівня паводку.

Максимальний стік весняного водопілля для басейнів малих рік за моделлю А. В. Огієвського (1945р.):

$$M_i = Q_i / F_0, \tag{18}$$

де Q_i – середні витрати води за певний проміжок часу t; F_0 – площа басейну.

Максимальна витрата води весняного водопілля за моделлю Й. А. Желєзняка (1965р.) для басейнів малих рік:

$$Q_m = 0,0116 K_{м.г.м.} Y_m F, \tag{19}$$

де Q_m – максимальна витрата води весняного водопілля; $K_{м.г.м.}$ – метеоролого-гідравліко-морфометричний параметр; Y_m – максимальний шар стоку; F – площа водозбору.

Динамічні характеристики водного потоку під час проходження паводку за моделлю Б. Волосецького, Т. Мельника (2009 р.) відображаються величиною стоку під час паводку (р. Тиса в межах м. Рахів) (Національний університет "Львівська політехніка", Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне):

$$W = Q \cdot T, \tag{20}$$

де Q – пов'язаний із площею поперечного перерізу русла ω і швидкістю течії водного потоку v залежністю: $Q = \omega \cdot v$; T – часовий інтервал.

Повний стік, селеві потоки для рік Карпат за моделлю Н. Є. Долгова, В. В. Шевчука, О. М. Іванківа, М. В. Лавренюка (2009 р., Київський національний університет імені Тараса Шевченка) визначається за формулою:

$$Q_{\max} = k \cdot a \cdot \alpha \cdot F, \qquad (21)$$

де k – коефіцієнт фільтрації; a – середня інтенсивність зливи; α – коефіцієнт стоку; F – площа басейну.

Дощовий стік для басейнів стоку з постійним поздовжнім похилом за раціональним методом І. І. Матлай, В. М. Жук, М. А. Саницький (2012р., НУ "Львівська політехніка"):

$$Q_r = C_f C \cdot q_d F, \qquad (22)$$

де C_f – коефіцієнт водонасичення ґрунту басейну стоку; C – безрозмірний коефіцієнт стоку; q_d – розрахункова інтенсивність дощу; F – площа басейну.

3.3.Розрахунок шару стоку

Шари стоку за період повені (басейн Сіверського Дінця) за моделлю Овчарук В. А. (1998 р., Одеський гідрометеорологічний інститут Міністерства освіти України) визначається:

$$Y_{zv} = f_p Y_p + f_l Y_l + f_{lis} Y_{lis}, \qquad (23)$$

де Y_p – шар стоку в полі (рілля); Y_l – шар стоку з лугу; Y_{lis} – шар стоку з лісу; f_p, f_l, f_{lis} – площа (в частках від одиниці) поверхні поля, лугу і лісу, відповідно.

Довготермінове прогнозування весняного стоку за О. І. Лук'янець (2002р.) на прикладі верхів'їв басейнів річок Прут і Сірет:

$$h = S + P_b - E_d - h_V + h_0 \pm h_{dw}, \qquad (24)$$

де h – шар весняного стоку; S – запаси води у снігові перед початком сніготанення або на термін складання прогнозу; P_b – опади за період від терміну складання прогнозу до закінчення повені; E_d – випаровування за той же період; h_V – шар затримання талої та дощової води на поверхні водозбору; h_0 – базисний стік за період повені; h_{dw} – поповнення запасів вологи в ґрунті або ж скидання надлишку води у вигляді стоку із поверхневого шару ґрунту (внаслідок його перенасичення).

Розрахунок середнього максимального шару стоку холодного періоду на прикладі рік Прикарпаття за операторною моделлю Е. Д. Гопченко, В. А. Овчарук (2007 р.):

$$\overline{Y}_m = a - bf_l + 0{,}3\left(H_{sr} - 1000\right), \qquad (25)$$

де a, b – районні параметри; f_l – коефіцієнт лісистості; H_{sr} – середня висота водозбору.

Балансова модель поверхневого стоку з урахуванням рельєфу поверхні Гопченко Є. Д., Шакірзанова Ж. Р., Овчарук В. А. (2020 р., Одеський

державний екологічний університет) дозволяє розрахувати поверхневий стік для прямокутної поверхні:

$$Y_{pr} + A_z + A_V = F_p + E + Y_{ot}, \qquad (26)$$

де A_z – шар зимових опадів (м); A_V – шар опадів за час сніготанення (м); F_p – шар інфільтраційної води (м): $F_p = k_f T$, де k_f – коефіцієнт інфільтрації, T – час інфільтрації; E – шар сумарного випаровування з поверхні (м); Y_{ot} – шар стоку (відтоку) води; Y_{pr} – шар припливу води.

Аналіз наведених моделей дозволив виділити їх основні недоліки:

- максимальні витрати талих вод не поширюються на водотоки тривалістю стікання з схилів понад 12 год.;
- визначення максимальних витрат зливових вод не поширюються на водотоки з площею водозбору понад 35 км^2;
- визначення розрахункових гідрологічних характеристик не поширюються на селенебезпечні райони прилеглих до рік ділянок;
- використання лише одного інтегрального показника редукції;
- неможливість врахування під час формування водопілля всього комплексу діючих природних факторів.

Варто зазначити, що використання математичної моделі В. М. Жука дозволяє враховувати як природні фактори, так і антропогенні чинники, що впливають на максимальні витрати паводкових вод, які, в свою чергу, мають прямий вплив на збільшення витрат води рік. Врахування як природних факторів фізико-географічних показників басейнів рік (площу басейну, нахил місцевості) та кількісних характеристик стоку, а також антропогенних чинників (наприклад, коефіцієнт лісистості і заболоченості) дозволило б вдосконалити вказану модель. Застосування такої моделі дозволить попередити або запобігти виникненню паводкових вод, що спричиняє появу селевих потоків, паводків, затоплення сільськогосподарських угідь, житлових масивів.

4. Захист від поверхневого стоку

Будівельні компанії України, такі як “Мінбуд”, “Євразія”, пропонують завчасно захистити населення, міста, гідроспоруди від паводків і повеней, застосовуючи шпунт ПВХ в якості будівельного елемента. Шпунтові огорожі являють собою тонкі підпірні стінки, стійкість яких забезпечується глибоким закладанням в ґрунт. Завдяки замулюванню зазорів в замках шпунтові огорожі незабаром після зведення стають практично водонепроникними. Вони утримують ґрунт від зсувів, суфозій [17].

Переваги шпунтових огорож:

- володіє підвищеним терміном служби;
- економічність;
- відносна простота зведення.

Аналогом шпунтових огорож є FLOOD WALL бар’єри, які використовуються у США. Периметрова стіна проти повені знаходиться на березі річці Міссісіпі [18].

Матраци Рено [19] – це площинні конструкції, заводського виготовлення малої висоти і великої площі поверхні , виконані з металевої сітки подвійного кручення з шестикутними комірками, розділені на секції за допомогою діафрагм, встановлюваних всередині баз матраців Рено через кожен метр по довжині. Подвійне кручення дротяної сітки забезпечує цілісність, міцність і рівномірність розподілу навантажень, запобігає розкручуванню у разі розриву сітки.

Дротяна сітка, яка використовується для матраців Рено, виготовляється із сталевого дроту щільного оцинковування або дроту з покриттям GALMAC. У тому випадку, коли матраци Рено застосовуються в агресивному середовищі, дріт для їх виготовлення проходить процес оцинковування (або покриття GALMAC), а потім додатково покривається оболонкою з ПВХ (полівінілхлорид). Покриття ПВХ захищає дріт і забезпечує велику стійкість до хімічних, механічних і корозійних пошкоджень.

Матраци Рено заповнюються каменем на будівельному майданчику і формують гнучкі, проникні структури у вигляді облицьовувань, фартухів для захисту від підмиву основ споруд і ін., в проектах контролю ерозії ґрунтів . Характеристики матраців Рено забезпечують їх конструктивну цілісність протягом тривалого терміну експлуатації. Найбільш важливі з них — міцність, гнучкість, проникність, універсальність застосування і екологічність.

З часом матраци Рено зливаються з навколишнім середовищем і стають частиною природного ландшафту. Вони набувають максимальної міцності і стійкості за рахунок природних процесів, оскільки з часом відбувається акумуляція частинок ґрунту між каменями, що сприяє утворенню рослинності на поверхні матраців. Завдяки пористій структурі матраців Рено досягається висока проникність даних споруд для води і повітря.

Матраци Рено в основному застосовуються в основі підпірних стінок з габіонів, кріплення конусів мостів, захисту трубопроводів, ландшафтних робіт, річкового і морського берегоукріплення та інш. За рахунок дуже хороших гідравлічних характеристик вони застосовуються для зміцнення берегів і дна річок, в конструкціях шпор, водоскидів, облицьовувань. Матраци Рено з покриттям з ПВХ використовуються для захисту морських берегів і дна від розмиву [19].

Через постійно зростаючий попит на інновації в сфері засобів, які використовуються при виникненні надзвичайних ситуацій реальною альтернативою мішків з піском стала розроблена Корпорацією з контролю за повенями в США проста система швидкого реагування Тигр греблі™ [20]. Система Тигр гребля™ складається з подовженої гнучкої труби, яка може бути швидко укладена, об'єднана і заповнена водою. Пірамідальна структура утворює бар'єр для захисту будинків і будь-яких інших структур. Труби можуть

бути заповнені 2-х дюймовим насосом, пожежним гідрантом або садовим шлангом. Вони витримують максимально штабелювання до 32 футів у висоту і пов'язані один з одним на багато кілометрів. Коли вода відступить, труби можна злити протягом декількох хвилин, закотити і повторно використовувати. Вони служать для захисту навколишнього середовища, не шкодять навколишньому середовищу. При розгортанні належним чином, система Тигр греблі ™ зможе відвернути до 100 % паводкових вод. Система може бути зібрана за лічені хвилини з використанням паводкових вод або будь-якого джерела води за допомогою двох людей.

З метою укріплення берегів від розмивів неподалік Івано-Франківська в с. Угринів Тисменицького району на українсько-румунському підприємстві «Ітеко» почали виготовляти модульні дамби. Це металеві модульні конструкції з гумовими з'єднувальними прокладками, кожна секція дамби важить 110 кг, має висоту 1,5 м і розрахована на навантаження води до 3 тонн. Як стверджують румунські фахівці, 15 людей розкладають дамбу довжиною 1 км за 8 годин [21]. Дамби планується використовувати в місцях прориву вже діючих берегоукріплень.

Наведена інформація про способи захисту від повені дає уявлення про основні питання, на які варто звернути увагу при виборі методу захисту:

- швидкість розгортання системи;
- екологічність;
- постійне чи тимчасове використання;
- вартість.

5. Висновки

У статті наведено характеристики поверхневого стоку, проаналізовано існуючі моделі розрахунку та прогнозування кількісних характеристик поверхневих стоків та паводкових вод, системи захисту.

На основі приведених статистичних даних показано, що ліси стримують розвиток паводкових вод, повеней, сприяють зменшенню поверхневого стоку, позитивно впливають на регулювання водного балансу [10]. Економічно неощадлива господарська діяльність, зокрема, сільського господарства, призвела до зниження лісових екосистем. Йдеться, насамперед, про суцільні вирубування, порушення вікового породного складу лісостанів, а також надмірне розорювання схилів та розширення полонин [11].

Аналіз математичних моделей показує необхідність розробки інформаційної системи контролю кількісних характеристик поверхневого стоку, яка б включала основні кількісні характеристики поверхневого стоку, водно-фізичні властивості ґрунту, рельєф басейну, кліматичні фактори з метою попередити або запобігти виникненню поверхневого стоку, який спричиняє селеві потоки, затоплення сільськогосподарських угідь, житлових масивів, а також є основною складовою для формування паводкових вод, повеней.

У подальшому планується вдосконалити існуючі математичні моделі розрахунку поверхневого стоку шляхом врахування при формуванні водопілля всього комплексу природних факторів, а саме: похил місцевості, кількість опадів, шар стоку, коефіцієнт стоку, та антропогенних чинників, наприклад, коефіцієнт лісистості та заболоченості.

Посилання:

1) Слово і діло. Аналітичний портал [Електронний ресурс]: У Держлісагентстві назвали причини паводків у Карпатах / Офіційний сайт – https://www.slovoidilo.ua/2020/06/24/novyna/suspilstvo/derzhlisahentstvi-nazvaly-prychyny-pavodkiv-karpatax
2) Оперативна інформація про водогосподарську обстановку та гідрологічний режим на річках Закарпатської області [Електронний ресурс]: Державне агентство водних ресурсів України / Офіційний сайт – https://buvrtysa.gov.ua/newsite/?p=23184
3) Arkhypova L. M. Forecasting water bodies hydrological parameters using singular spectrum analysis / L. M. Arkhypova, S.V. Pernerovska // Scientific bulletin of National Mining University. Scientific and technical journal number 2 (146)/2015. – P. 45-50.
4) Клімат України [Електронний ресурс] // Пізнавальний сайт "Географія". – Режим доступу: http://geoknigi.com/ book_view.php?id=796
5) Рак А. Ю. Взаємозв'язок і зумовленість прояву стихійних явищ у гірсько-лісових екосистемах / А. Ю. Рак // Наукові праці Лісівничої академії наук України: зб. наукових праць. Івано-Франківськ. – 2018.– Т. 28. – С. 67-72.
6) Korchemlyuk M. Estimation of key pressures on Prut river basin in Ukraine // Екологічна безпека. Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського/ M. Korchemlyuk, L. Arkhipova. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Випуск 1/2015(19). – С. 41-45. – Режим доступу: http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Ekol_bezpeka/index.html
7) Про правовий режим зон санітарної охорони водних об'єктів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2024-98-%D0%BF#Text
8) Галицький кореспондент [Електронний ресурс]: Як запобігти паводкам у Карпатах? / Офіційний сайт – https://gk-press.if.ua/yak-zapobigty-pavodkam-u-karpatah/
9) Про схвалення Державної стратегії управління лісами України до 2035 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 29 грудня 2021 р. № 1777-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show /1777-2021-%D1%80#Text
10) Кравець А. С. Структурна модель впливу метеорологічних факторів на гідроспоруди / А. С. Кравець, О. І. Белей, Л. О. Штаєр // Сучасні світові

тенденції розвитку науки та інформаційних технологій: Матеріали конференції. – Одеса: ГО «Інститут інноваційної освіти». – 2022. – С. 175-177.
11) Kravets O. Y. Використання метеорологічних та геомерологічних даних при розрахунку паводкових стоків / O. Y. Kravets // Науковий вісник НЛТУ України: Зб. наук.-техн. праць – Львів: НЛТУ України, 2018. – Вип. 28(2). – С. 129-132.
12) Миколайчик Л. Українське ґрунтознавство на тлі минулого і сьогодення / Л. Миколайчик. // Землепорядний вісник. – Київ. – 2019. – №1. – С. 8-13.
13) Суярко В. Г. Інженерна геологія (з основами геотехніки): підручник / В. Г. Суярко, В. М. Величко, О. В. Гаврилюк, В. В. Сухов, О. В. Нижник, В. С. Білецький, А. В. Матвєєв, О. А. Улицький, О. В. Чуєнко. – Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2019. – 278 с.
14) Жук В. М. Метод гідравлічного розрахунку ексфільтраційних траншей / В. М. Жук, В. В. Бошота // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник. – Вип. 19. – К.: КНУБА, 2012. – С. 22-31.
15) Ігор Меліка. Туристичні походи: Карпати, Кавказ, Європа [Електронний ресурс]: Метеорологічні небезпечні явища / Офіційний сайт – http://igormelika.com.ua/moi–karpati/zbirayemos–v–gori/meteorologichni–nebezpechni–yavishha
16) Сорочак І. В. Методика збору та обробки статистичних даних про паводок / І. В. Сорочак, О. Л. Заміховська, О. І. Белей // Теорія і практика актуальних наукових досліджень: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції: збірник матеріалів. – Одеса, 2018. – С. 50-51.
17) Захист від повеней – зведення антипаводкових систем [Електронний ресурс]: Укріплення берегів, штучні водойми, катери, яхти, суднопідіймачі, елінги, причали – Мінбуд / Офіційний сайт – http://minbud.ub.ua/service/2590--.html
18) Flood wall barriers – perimeter wall [Електронний ресурс]: American-made flood walls. Protecting the United States since 1997 / Офіційний сайт – http://floodcontrolam.com/flood-wall-applications/perimeter-flood-wall
19) Матраци Рено [Електронний ресурс]: Виробниче об'єднання Габіони захід Україна / Офіційний сайт – http://zahid-gabions.cv.ua/materials/2/
20) Flood protection products: tiger dams [Електронний ресурс]: Tiger damstm the first line of defense / Офіційний сайт – http://www.usfloodcontrol.com /products.html
21) На Прикарпатті почали виготовляти модульні дамби [Електронний ресурс]: / Агенція новин firtka / Офіційний сайт – http://firtka.if.ua/?action=show&id=16408